

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

**Energetické a ekonomické porovnání běžného a
nízkoenergetického RD**

**Energy and Economical Comparison of Common and Lowenergy
Family House**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Radim Janalík, CSc.

Vypracoval:

Jan Němeček

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Němeček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Specializace: 70 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: Energetické a ekonomické porovnání běžného a nízkoenergetického RD
Energy and Economical Comparison of Common and Lowenergy
Family House

Zásady pro vypracování:

Porovnejte běžný a nízkoenergetický RD z pohledu tepelných ztrát, potřeb tepla na vytápění a ročních ekonomických nákladů.

Práce bude obsahovat:

1. Popis běžného a nízkoenergetického domu.
2. Výpočet tepelných ztrát.
3. Výpočet roční spotřeby tepla na vytápění.
4. Ekonomické porovnání ročního provozu pro různé zdroje energie.

Seznam doporučené odborné literatury:


CIHELKA, J. *Vytápění, větrání, klimatizace*. Praha: SNTL, 1985.
ŘEHÁČEK, J. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. Praha, Grada Publishing, 2002.
ŠMELHAUS, P. *Nízkoenergetický dům*. Praha, 2004.
TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 2 : principy a příklady*. Praha, Grada Publishing, 2008.
DUFKA, J. *Vytápění domů a bytů*. Praha, Grada Publishing, 2004.
Normy pro výpočet tepelných ztrát a tepelnou ochranu budov.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011
Datum odevzdání: 21.05.2012




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Radimu Janalíkovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí cenných rad a připomínek při zpracování mé bakalářské práce.

Jan Němeček

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská- Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřeli licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Němeček, J. *Energetické a ekonomické porovnání běžného a nízkoenergetického RD.*

Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava 2012,
Bakalářská práce, 36 s., vedoucí Ing. Radim Janalík, CSc.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním běžného zděného a nízkoenergetického rodinného domu z hlediska tepelných ztrát a spotřeby tepla na vytápění. V závěru práce jsem provedl porovnání ročního provozu pro různé zdroje energie.

BACHELOR'S THESIS ABSTRACT

Němeček, J. *Energy and Economical Comparison of Common and Low-energy Family House*
Ostrava: The Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering VŠB –
Technical University of Ostrava, 2012, Bachelor's thesis, 36 p., thesis supervisor Ing. Radim
Janalík, CSc.

This bachelor's thesis deals with the comparison of an ordinary brick and a low-energy detached house in terms of heat losses and heat consumption for heating. Finally, I made a comparison of annual operation of a house with different energy sources.

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Popis běžného a nízkoenergetického domu	11
2.1. Nízkoenergetický dům	11
2.2. Popisy vzorového běžného zděného a nízkoenergetického domu	12
2.2.1. Porovnávaný nízkoenergetický dům (NED)	12
2.2.2. Porovnávaný starší zděný rodinný dům	14
3. Výpočet tepelných ztrát.....	16
3.1. Metodika tepelné ztráty budovy	16
3.2. Výpočet tepelných ztrát pro NED	20
3.3. Výpočet tepelných ztrát pro starší zděný RD	22
4. Výpočet roční spotřeby tepla na vytápění	26
4.1. Výpočet pro nízkoenergetický rodinný dům	27
4.2. Výpočet pro běžný zděný rodinný dům	28
5. Tepelné a ekonomické porovnání staršího zděného a nízkoenergetického domu.....	29
5.1 Porovnání tepelných ztrát	29
5.2 Porovnání roční spotřeby tepla	30
5.3 Ekonomické porovnání ročního provozu pro různé zdroje energie	31
6. Závěr.....	34
7. Seznam použité literatury.....	35
8. Seznam příloh.....	36

Seznam použitých symbolů

Q_C	[W]	celková tepelná ztráta
Q_p	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla
Q_v	[W]	tepelná ztráta větráním
Q_z	[W]	trvalý tepelný zisk
Q_0	[W]	základní tepelná ztráta
p_1	[-]	přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn
p_2	[-]	přirážka na urychlení zátoku
p_3	[-]	přirážka na světovou stranu.
t_i	[°C]	výpočtová vnitřní teplota
t_e	[°C]	výpočtová teplota prostředí na vnější straně konstrukce
A	[m ²]	celková plocha konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost.
S	[m ²]	plocha ochlazované části konstrukce
V_v	[m ³ .s ⁻¹]	objemový tok větracího vzduchu
l	[m]	tloušťka stěny
l_s	[m]	délka stěny
v	[m]	výška stěny
i_{LV}	[m ³ . m ⁻¹ .s ⁻¹ .Pa ^{-0,67}]	součinitel spárové průvzdušnosti
L	[m]	délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří
B	[Pa ^{0,67}]	charakteristické číslo budovy
M	[-]	charakteristické číslo místnosti
k	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
α_i	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně
α_e	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na vnější straně
ε_{inf}	[-]	nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem,
ε_{d}	[-]	snížení teploty v místnosti během dne respektive noci
ε_{p}	[-]	zkrácení doby vytápění v objektu s přestávkami provozu
$Q_{\text{vyt},r}$	[GJ/rok, MWh/rok]	potřeba tepla na vytápění
D	[K. dny]	Denostupně
d	[dny]	počet otopných dnů a nocí

η_{r}	[%]	je účinnost obsluhy respektive možnosti regulace soustavy
η_{v}	[%]	účinnost rozvodu vytápění
t_{e}	[°C]	výpočtová vnější teplota

1. Úvod

Žijeme v době, která klade čím dál vyšší nároky na financování základních potřeb nezbytných pro život. Mezi tyto položky neodmyslitelně patří také teplo. Je proto zcela logické, že lidé hledají možnosti, jak tyto náklady co nejvíce minimalizovat. Uvědomují si, že jim náklady doslova „protékají“ skrze zdi či okna. Proto dochází k revitalizacím domů, k zateplování. Je třeba si však uvědomit, že nejideálnějším řešením je chovat se ekonomicky a zodpovědně ještě než položíme základní kámen stavby. K tomu je nezbytně nutné položit si prvotní otázku: „Pořídit si nízkoenergetický či klasický zděný dům?“ Nelze opomenout ani správnou volbu spalovacího zařízení, kde je v současné době kladen důraz taktéž na jeho ekologičnost.

Téma práce jsem si zvolil cíleně, neboť jsem v dané problematice osobně zainteresován. Výběr tématu mi ulehčil i fakt, že jsem měl možnost reálně popsat nízkoenergetický i běžný zděný rodinný dům, za což vděčím dvěma rodinám, jež mi umožnily provést dané porovnání na reálných podkladech stejně jako nahlédnout do technické dokumentace příslušných domů. Můj zájem bude směřován zejména k tématice tepelných ztrát a spotřebě tepla na vytápění. Současně mi tato práce dává příležitost dovědět se více o problematice nízkoenergetických domů a posoudit klady i zápory, s nimiž jsem se seznámil prostřednictvím literatury a zhodnotit, jak se s nimi vypořádali stavitelé v tomto konkrétním případě.

V uceleném sledu se budu postupně v jednotlivých kapitolách věnovat popisu porovnávaných domů, jejich charakteristice a obecným tepelným vlastnostem, metodice tepelných ztrát a jejího praktického použití při výpočtech pro dané domy, výpočtu roční spotřeby tepla na vytápění a finálně potom porovnáním zjištěných energetických a ekonomických výsledků.

Cílem mé práce je, jak vyplývá již ze samotného zadání, provedení energetického a ekonomického porovnání nízkoenergetického a běžného zděného domu.

2. Popis běžného a nízkoenergetického domu

2.1. Nízkoenergetický dům

Nízkoenergetickým domem je myšlena budova pro běžné účely se zvláště nízkou spotřebou energie, která se pohybuje mezi 15 – 50 kWh/m² za rok. Domy, které potřebují ještě méně energie, nazýváme pasivními a topný systém u nich je v provozu zhruba 1 měsíc v roce.

Typickými nízkoenergetickými domy jsou domy s označením MINERGIE, jejichž spotřeba tepla se pohybuje okolo 30 kWh/m² za rok.

Abychom mohli dům posoudit jako nízkoenergetický, je třeba nejprve stanovit parametr, podle kterého můžeme dům do této kategorie zařadit. Tímto parametrem je měrná potřeba tepla na vytápění – (kWh/m²a), která udává potřebu tepla v kWh na vytápění 1m² vytápěné plochy budovy za rok. Podle dosažené hodnoty potřeby tepla na vytápění lze rozdělit domy do několika kategorií, jak dokládá níže uvedená tabulka.

Kategorie	Potřeba tepla na vytápění [kWh.m ⁻² .a ⁻¹]
Starší dům	200 a více
Novostavba (dle stavebních předpisů)	80-120
Nízkoenergetický dům	15-50
Pasivní dům	5-15
Nulový dům	0-5

Tabulka 1 Kategorie dle hodnot potřeby tepla na vytápění

Za nulový dům je považován dům bez jakéhokoliv aktivního vytápění, který se vytopí sám sluneční energií a energetickými zisky od obyvatel domu a elektrických přístrojů v domě, které, byť úsporné, vždy produkují jisté ztrátové teplo.

2.2. Popisy vzorového běžného zděného a nízkoenergetického domu

2.2.1. Porovnávaný nízkoenergetický dům (NED)

Rodinný nízkoenergetický dům se nachází v okolí Ostravy, proto je výpočtová venkovní teplota rovna hodnotě $t_e = -15^{\circ}\text{C}$. Budova stojí samostatně, nachází se ve velmi nepříznivé krajině. Jedná se o novostavbu, rok kolaudace 2011. Dům má členitý půdorys o rozměrech 7,8 x 8,85 m, je nepodsklepený s kompletně vybudovaným přízemím a podkrovím.



Obrázek 1 Porovnávaný nízkoenergetický dům

Základní tepelné vlastnosti domu

Nosnou část domu tvoří dřevěná impregnovaná konstrukce, která je z obou stran pokryta izolačními materiály, kterými jsou sádkarton, voděodolná dřevoštěpková deska OSB,

minerální vlna a parozábrana. Konkrétní údaje a vlastnosti daných izolačních materiálů jsou uvedeny v tabulce č. 5 v kapitole 3.2.

Střecha je sedlová, střešní konstrukce pokryta betonovou střešní taškou typu BRAMAC. Mezi izolační materiály patří pojistná hydroizolace, tepelná izolace o tloušťce 220 mm, parozábrana PVC a protipožární sádrokarton.

Okna jsou plastová s izolačním trojsklem, situovaná co nejvíce na jižní stranu, aby bylo využito co největších solárních zisků.

Další vstupní údaje jsou uvedeny v tabulce č. 2. Délka otopného období a vnější průměrná teplota je určena dle literatury [3].

Lokalita - město	Ostrava
Teplotní oblast	-15 °C
Vnější průměrná teplota	4 °C
Délka otopného období	229 dní
Převládající teplota interiéru	20 °C
Objem budovy V	307 m ³
Konstrukční výška podlaží	2,8 m

Tabulka 2 vstupní hodnoty NED

Dům je vytápěn elektrickým kotlem DAKON DALINE PTE-S o výkonu 8 kW bez ohřevu teplé vody. Ohřev teplé vody zajišťuje bojler 150 l. Během otopného období při velmi nízkých teplotách slouží k přitápění ještě krb s komínovým výměníkem.

2.2.2. Porovnávaný starší zděný rodinný dům

Rodinný dům, který jsem vybral k porovnání s nízkoenergetickým domem, se nachází v Ostravě, v historické zástavbě. Stáří domu je 117 let a je částečně podsklepený. Budova stojí v řadové zástavbě, nachází se v chráněné krajině. Výpočtová venkovní teplota v dané lokalitě se rovná také hodnotě $t_e = -15^\circ\text{C}$.



Obrázek 2 Běžný zděný rodinný dům

Základní tepelné vlastnosti domu

Dům je tvořen zděnou konstrukcí z pálených cihel o tloušťce 600 mm.

Střecha je sedlová, střešní konstrukce tvořená hliníkovými pláty značky DEICHMANN, připevněnými na dřevěné desky. Izolačním materiálem je polystyren o tloušťce 20 mm.

Okna jsou dřevěná špaletová s izolačním dvojsklem.

Další vstupní údaje jsou uvedeny v tabulce č. 3. Délka otopného období a vnější průměrná teplota je určena dle literatury [3].

Lokalita - město	Ostrava
Teplotní oblast	-15 °C
Vnější průměrná teplota	4 °C
Délka otopného období	229 dní
Převládající teplota interiéru	20 °C
Objem budovy V	520 m ³
Konstrukční výška podlaží	3,3 m

Tabulka 3 Vstupní hodnoty domu

K vytápění domu slouží plynový litinový kotel DAKON GL EKO o výkonu 14-20 kW kombinovaný s kotlem na tuhá paliva o výkonu 24 kW.

3. Výpočet tepelných ztrát

Určujícím faktorem pro ekonomické a efektivní vytápění je volba optimálního výkonu zdroje tepla. Výkon topné soustavy se stanovuje na základě výpočtu tepelných ztrát objektu, které jsou určující pro celkovou spotřebu energie na vytápění domu. Výpočet tepelných ztrát slouží k dimenzování vytápěcího systému. Stanovení výkonu zdroje tepla na základě výpočtu tepelných ztrát může ušetřit jak významné investiční, tak provozní náklady.

3.1. Metodika tepelné ztráty budovy

U tepelných výpočtů jsem vycházel z normy ČSN 06 0210, která již neplatí, avšak metodika výpočtu zůstává stejná.

Norma ČSN 06 0210 stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát budov prostupem tepla a větráním při nepřerušovaném vytápění jako podklad pro dimenzování otopných soustav ústředního vytápění.

Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta Q_C se rovná součtu tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcemi a tepelné ztráty větráním a může se snížit o tepelné zisky. Vypočítá se dle vztahu:

$$Q_C = Q_p + Q_v - Q_z \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde Q_p je tepelná ztráta prostupem tepla [W],

Q_v tepelná ztráta větráním [W],

Q_z trvalý tepelný zisk [W].

Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem tepla Q_p se stanoví ze vztahu:

$$Q_p = \lambda_0 \cdot \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i + \gamma_2 + \gamma_3 \right) \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde Q_0 je základní tepelná ztráta [W],
 p_1 přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-],
 p_2 přírážka na urychlení zátoku [-],
 p_3 přírážka na světovou stranu [-].

Základní tepelná ztráta prostupem tepla Q_0 se rovná součtu tepelných toků prostupem tepla v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi, které ohraničují vytápěnou místnost od venkovního prostředí nebo od sousedních místností:

$$Q_0 = k_1 \cdot S_1 (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 (t_i - t_{e2}) + \dots + k_n \cdot S_n (t_i - t_{en}) + \sum_{j=1}^{j=n} k_j \cdot S_j (t_i - t_{ej}) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

kde $S_1, S_2 \dots S_n$ je ochlazovaná část stavební konstrukce [m^2]
 $k_1, k_2 \dots k_n$ součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
 t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$]
 $t_{e1}, t_{e2} \dots t_{en}$ výpočtová teplota prostředí na vnější straně konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

Je-li u některé ze stavebních konstrukcí teplota na vnější straně vyšší než teplota ve vytápěné místnosti, jde – z hlediska uvažované místnosti – o tepelný zisk, který zmenšuje tepelnou ztrátu místnosti.

Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stavebních konstrukcí p_1 se stanoví ze vztahu:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad [-] \quad (4)$$

kde k_c je průměrná hodnota součinitele prostupu tepla všech konstrukcí místností, která se stanoví ze vztahu:

$$k_c = \sum \frac{Q_0}{S (t_i - t_e)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (5)$$

kde Q_0 je základní tepelná ztráta [W],
 t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$],

t_e výpočtová vnější teplota [°C].

A celková plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost [m²].

Přirážka na urychlení zátupu p_2 v bytové výstavbě, nemocnicích apod. se za normálních okolností neuvažuje. U budov se samostatnou kotelnou na tuhá paliva o jmenovitém výkonu menším než 150 kW se předpokládá, že ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění, a proto se při výpočtu tepelné ztráty prostupem počítá s přirážkou na urychlení zátupu p_2 , a to v následující velikosti:

- 0,10 při denní době vytápění delší než 16 hodin nebo rovné
- podle ČSN 06 0220 při denní době vytápění kratší než 16 hodin

O výši přirážky na světovou stranu p_3 rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce místnosti. Při více ochlazovaných konstrukcích rozhoduje poloha jejich společného rohu. U místností se třemi nebo čtyřmi ochlazovanými konstrukcemi se počítá s přirážkou největší. Hodnoty přirážky p_3 jsou uvedeny v tabulce 1

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přirážka	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Tabulka 4 Přirážka na světovou stranu

Tepelná ztráta místnosti větráním

Tepelná ztráta místnosti větráním Q_v se stanoví ze vztahu:

$$Q_v = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (6)$$

kde V_v je objemový tok větracího vzduchu [m³.s⁻¹],

c_v objemová tepelná kapacita při teplotě 0°C [J.m³.K⁻¹],

t_i výpočtová vnitřní teplota [°C],

t_e výpočtová vnější teplota [°C].

Objemový tok vzduchu musí vycházet z hygienických nebo technologických požadavků. Ty jsou obvykle dány potřebnou intenzitou výměny vzduchu n_h (h^{-1}).

Potřebný průtok vzduchu se stanoví ze vztahu:

$$V_{vH} = \frac{n_h}{1300} \cdot V_m \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (7)$$

kde V_m je vnitřní objem místnosti [m^3].

Při přirozeném větrání infiltrací se objemový tok větracího vzduchu stanoví ze vztahu

$$V_{vP} = \sum i_{LV} \cdot L \cdot B \cdot M \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (8)$$

kde $\sum i_{LV} \cdot L$ je součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti
 $[m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$

i_{LV} součinitel spárové průvzdušnosti [$m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}$]

L délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří [m]

B charakteristické číslo budovy [$Pa^{0,67}$]

M charakteristické číslo místnosti [-]

Hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti i_{LV} oken a venkovních dveří jsou uvedeny v ČSN 730540-3

Celková délka spár L se stanovuje ze skladebných rozměrů otvíratelných oken a dveří. Uvažuje se přitom o spárách mezi jednotlivými křídly a rámem a se spárami mezi dvěma na sebe přiléhajícími křídly.

Charakteristické číslo budovy B závisí na rychlosti větru volené podle polohy budovy vzhledem ke krajině (rozlišuje se chráněná, nechráněná a velmi nepříznivá poloha) a na druhu budovy (rozlišují se řadové a osamělé budovy).

Z hlediska rychlosti větru se rozlišuje normální krajina a krajina s intenzivními větry.

3.2. Výpočet tepelných ztrát pro NED

Tepelná ztráta stěnami

Stěny nízkoenergetického domu se skládají z několika vrstev, jak je uvedeno přehledně v tabulce č. 5. Tloušťky vrstev a součinitele tepelné vodivosti jsem vyhledal v literatuře [3].

Materiál	l [mm]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	k [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Q [W]
Sádrokarton	12,5	0,21	0,21	775
Dřevoštěpková deska OSB3	12	0,24		
Parozábrana folie PVC	0,002	0,35		
Dřevěná rámová konstrukce	100	0,13		
Minerální vlna	50	0,04		
Dřevoštěpková deska OSB3	12	0,24		
Termoomítka	66	0,7		

Tabulka 5 Složení stěny vzorového nízkoenergetického domu

Příklad výpočtu tepelné ztráty stěnami:

K výpočtu tepelné ztráty stěnami je zapotřebí nejprve určit součinitel prostupu tepla dle následujícího vzorce:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} \sum \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}] \quad (9)$$

kde α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [W.m⁻².K⁻¹],

λ součinitel tepelné vodivosti [W.m⁻¹.K⁻¹],

α_e součinitel přestupu tepla na vnější straně [W.m⁻².K⁻¹].

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,0125}{0,21} + \frac{0,012}{0,24} + \frac{0,0002}{0,35} + \frac{0,1}{0,13} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,012}{0,24} + \frac{0,066}{0,7} + \frac{1}{23}} = 0,21 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

Ke zjištění celkové ztráty všech stěn, je nezbytné znát celkovou plochu ochlazovaných konstrukcí A, která je přehledně uvedena níže v tabulce č. 3.

Celková ztráta ochlazovanými stěnami se vypočte dle vztahu (3):

$$Q = k \cdot A \cdot (t_i - t_e) = 0,21 \cdot 123 \cdot (5 - -5) = 775 \text{ W}$$

Srovnatelnými výpočty lze zjistit údaje dalších částí ostatních ochlazovaných konstrukcí, které jsou uvedeny přehledně v tabulce č. 6.

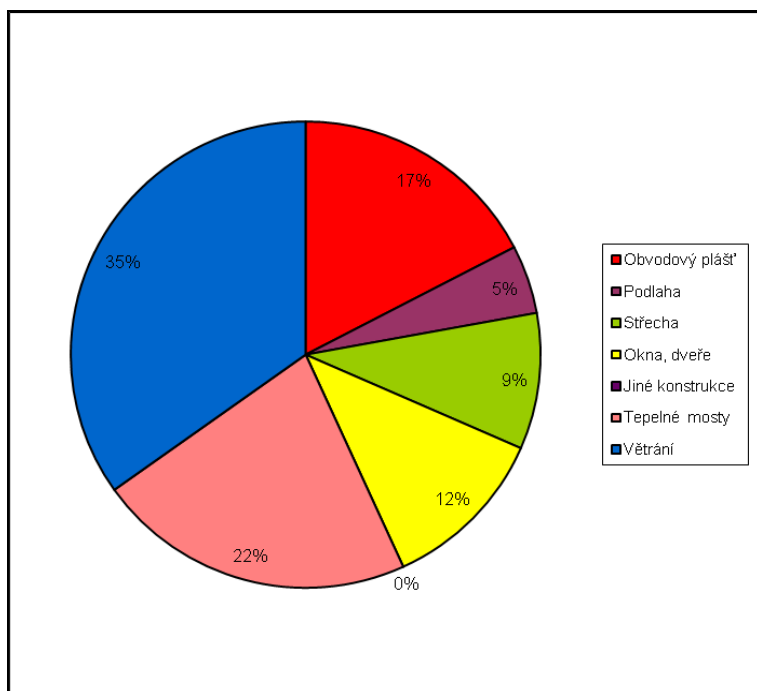
V tabulce č. 6 jsou dle [9] zaznamenány energeticky významné údaje ochlazovaných konstrukcí NED.

Typ konstrukce (větrání)	Plocha A [m ²]	k [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Q [W]
Obvodový plášť	123	0,21	775
Podlaha	63	0,24	212
Střecha	38	0,18	421
Okna, (dveře)	20	0,7	518
Jiné konstrukce	0	0	0
Tepelné mosty			980
Větrání			1554
--- Celkem ---	280		4460

Tabulka 6 Charakteristika energeticky významných údajů NED

V grafu č. 1 je znázorněno procentuální rozložení tepelných ztrát prostupem tepla a ztrát větráním v NED. Jak je z grafu patrné, k největším tepelným ztrátám dochází právě větráním a dále pak přes tepelné mosty tzn. místa konstrukce, kterými je umožněn zvýšený únik tepelné energie z interiéru do okolního prostředí, čímž dochází jednak k tepelným ztrátám, ale často

také k poklesu vnitřní povrchové teploty pod hodnotu teploty rosného bodu a následné kondenzaci vodních par.



Graf 1 Podíl jednotlivých konstrukcí na celkové tepelné ztrátě NED

3. 3. Výpočet tepelných ztrát pro starší zděný RD

Tepelná ztráta stěnami

Stěny vzorového běžného domu jsou složeny ze 3 vrstev. První vrstvou je vnitřní omítka, druhá vrstva je tvořena materiálem z pálených cihel a třetí vrstvou je vnější omítka. Tloušťky vrstev jsou uvedeny v tabulce č. 7. Součinitele tepelné vodivosti jsem vyhledal v literatuře [3].

Materiál	l [mm]	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Q [W]
Vnitřní omítka	20	0,8	1,1	4422
pálené cihly	600	0,86		
Vnější omítka	40	1		

Tabulka 7 Složení stěny běžného rodinného domu

Příklad výpočtu tepelné ztráty stěnami:

K výpočtu tepelné ztráty stěnami je zapotřebí nejprve určit součinitele prostupu tepla k dle vzorce (9):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,6}{0,86} + \frac{0,04}{1} + \frac{1}{23}} = 1,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

Ke zjištění celkové ztráty všech stěn, musím znát celkovou plochu ochlazovaných konstrukcí A. Jelikož se dům skládá ze tří ochlazovaných stěn, přičemž dvě stěny jsou shodné, lze celkovou plochu vypočíst dle vztahu:

$$A = 2 \cdot S_1 + S_2 \quad [\text{m}^2] \quad (10)$$

kde S_1 je plocha ochlazované boční stěny $[\text{m}^2]$
 S_2 plocha ochlazované stěny štítu $[\text{m}^2]$.

Boční ochlazované stěny mají tvar obdélníku a dva různé rozměry oken, proto je pro výpočet obsahu jedné stěny použit následující vzorec:

$$S_1 = l_s \cdot v - S_{ok1} - S_{ok2} \quad [\text{m}^2] \quad (11)$$

kde l_s je délka stěny $[\text{m}]$,
 v výška stěny $[\text{m}]$,
 S_{ok1} plocha 1 typu oken $[\text{m}^2]$,
 S_{ok2} plocha 2 typu oken $[\text{m}^2]$.

Plocha stěny štítu je vypočtena dle vzorce:

$$S_2 = l_s \cdot v + \frac{1}{2} l \cdot v_s - S_{ok2} \quad (12)$$

Dosazení naměřených rozměr délek a výšek do vzorců (11) a (12) :

$$S_{ok1} = 4 \cdot 1,5 = 3,6 \text{ m}^2$$

$$S_{ok2} = 5 \cdot 1,5 = 2,25 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 2,5 \cdot 3,8 - \frac{1}{2} \cdot 3,6 - 0,25 = 38 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 2,6 \cdot 3,8 + \frac{1}{2} \cdot 12,6 \cdot 2 - 0,25 = 58 \text{ m}^2$$

Výsledek celkové ploch ochlazovaných konstrukcí A zjistím dosazením vypočtených údajů do vzorce (10):

$$A = 1 \cdot 38 + 58 = 134 \text{ m}^2$$

Celková ztráta ochlazovanými stěnami je vypočtena dle vztahu (3):

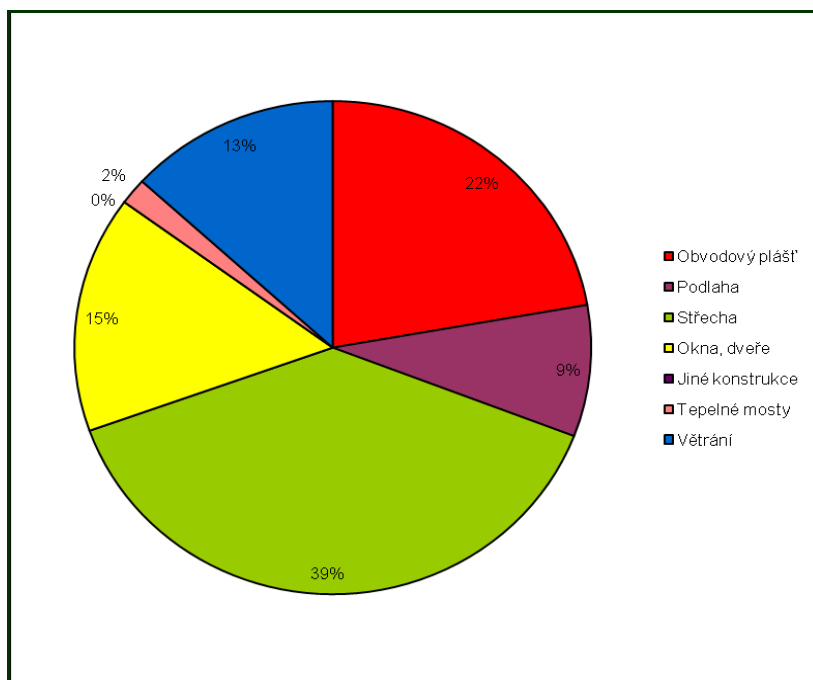
$$Q = k \cdot A \cdot (t_i - t_e) = 1 \cdot 134 \cdot (5 - -5) = 4422 \text{ W}$$

Srovnatelnými výpočty lze zjistit údaje dalších částí ostatních ochlazovaných konstrukcí, které jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 8.

Typ konstrukce (větrání)	k [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Q [W]
Obvodový plášť	1,1	4422
Podlaha	0,4	1715
Střecha	2,2	7700
Okna, (dveře)	2,35 (1,2)	3095
Jiné konstrukce	0	0
Tepelné mosty		344
Větrání		2629
--- Celkem ---		19905

Tabulka 8 Charakteristika energeticky významných údajů

Z grafu č. 2 je patrné, které konstrukce budovy mají zásadní vliv na celkovou tepelnou ztrátu. Jak lze z grafu zjistit, k největším tepelným ztrátám dochází přes střechu a obvodový plášť domu.



Graf 2 podíl jednotlivých konstrukcí na celkové tepelné ztrátě běžného rodinného domu

4. Výpočet roční spotřeby tepla na vytápění

K výpočtu roční spotřeby tepla je třeba znát celkové tepelné ztráty budov. Postup výpočtu roční spotřeby bude řešen denostupňovou metodou.

Denostupňová metoda je jedním z postupů, které slouží pro návrh, vyhodnocování a porovnávání zdrojů a spotřebičů tepla. Základem metody je znalost průběhů venkovních teplot z meteorologických dat. Údaje uváděné ve veřejně dostupných zdrojích nebo v odborných publikacích však obvykle postrádají potřebnou podrobnost nebo přicházejí k uživateli s velkým zpožděním.

$$D = l \cdot \left(\frac{t_{is}}{t_{es}} - 1 \right) \quad [\text{K. dny}] \quad (13)$$

kde d je počet otopných dnů a nocí

t_{is} průměrná vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$],

t_{es} průměrná teplota během otopného období [$^{\circ}\text{C}$].

Jedním z hlavních problémů je stanovení počtu topných dnů. Výpočet vychází ze současné legislativní úpravy uvedené ve vyhlášce 152/2011 Sb.

Otopné období je čas, kdy jsou zdroje tepla uvedeny do stavu pohotovosti k dodávce tepla spotřebitelům. Začíná 1. září a končí 31. května. Dodávka tepla se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě poklesne pod $+13^{\circ}\text{C}$ ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad $+13^{\circ}\text{C}$ pro následující den. Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot v 7, 14 a ve 21 hodin, přičemž teplota měřená ve 21 hodin se počítá dvakrát. Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad $+13^{\circ}\text{C}$ ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod $+13^{\circ}\text{C}$ se vytápění obnoví.

Opravný součinitel ε je možné určit z odborné literatury, podle zkušeností nebo dle vzorce:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{inf}} \cdot \varepsilon_{\text{pr}} \cdot \varepsilon_{\text{pr}} \quad [-] \quad (14)$$

kde ε_{inf} je nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem [-],

ε_{pr} snížení teploty v místnosti během dne respektive noci [-],

ε_{pr} zkrácení doby vytápění v objektu s přestávkami provozu [-].

Výpočet potřeby tepla na vytápění $Q_{\text{vyt},r}$

$$Q_{\text{vyt},r} = \frac{\varepsilon}{\eta_{\text{ob}} \cdot \eta_{\text{roz}}} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{t_{\text{es}} - t_e} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad [\text{GJ/rok}] \quad (15)$$

kde η_{ob} je účinnost obsluhy respektive možnosti regulace soustavy [%]

η_{roz} účinnost rozvodu vytápění [%]

t_e výpočtová vnější teplota [°C].

4.1. Výpočet pro nízkoenergetický rodinný dům

V kapitole 3.1 jsem zjistil celkovou tepelnou ztrátu NED Q_c , která činí 4,46 kW. Z tabulky č. 2 jsem použil údaje počtu otopných dnů d a průměrnou venkovní teplotu během otopného období t_{es} .

$$D = d \cdot (t_{\text{in}} - t_{\text{es}}) = 129 \cdot (20 - (-5)) = 3664 \text{ K. dny}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{inf}} \cdot \varepsilon_{\text{pr}} \cdot \varepsilon_{\text{pr}} = 1,85 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,765$$

$$Q_{\text{vyt},r} = \frac{\varepsilon}{\eta_{\text{ob}} \cdot \eta_{\text{roz}}} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{t_{\text{es}} - t_e} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = \frac{1,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 4,46 \cdot 3664}{20 - (-5)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{\text{vyt},r} = 34,2 \text{ GJ/rok} \approx 9,5 \text{ MWh/rok}$$

4.2. Výpočet pro běžný zděný rodinný dům

V kapitole 3.2 jsem zjistil celkovou tepelnou ztrátu Q_c , která činí 19,95 kW.

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 129 \cdot (20 - 5) = 3664 \text{ K} \cdot \text{dny}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,765$$

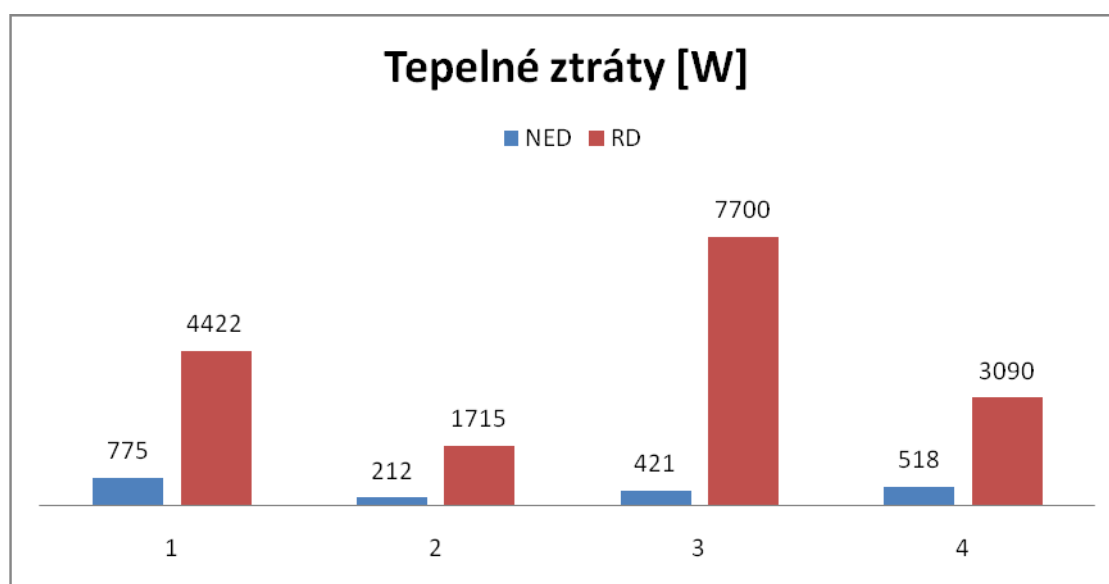
$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-7} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 19,95 \cdot 3664}{(20 - 5)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-7}$$

$$Q_{vyt,r} = 153 \text{ GJ/rok} \approx 42,5 \text{ MWh/rok}$$

5. Tepelné a ekonomické porovnání staršího zděného a nízkoenergetického domu

5.1 Porovnání tepelných ztrát

V kapitolách 3.1 a 3.2 jsem vypočetl tepelné ztráty porovnávaných domů. Pro názornost jsou tyto údaje vyneseny do grafu č. 3



Graf 3 Grafické znázornění tepelných ztrát u porovnávaných domů

- kde
- 1 je tepelná ztráta obvodovým pláštěm [W]
 - 2 tepelná ztráta podlahou [W]
 - 3 tepelná ztráta střechou [W]
 - 4 tepelná ztráta okny [W]

V grafu č.3 je patrné, že dominantní tepelné rozdíly jsou ve všech čtyřech ochlazovaných konstrukcích. Největším tepelným rozdílem je tepelná ztráta střechou. Střecha staršího domu je na rozdíl od nízkoenergetického domu výrazně méně zateplena.

Druhým výrazným rozdílem je tepelná ztráta obvodovým pláštěm. Starší zděný dům má ochlazované stěny tvořeny pouze 3 vrstvami a bez izolačních materiálů. Nízkoenergetický dům má skladbu ochlazovaných stěn tvořenou mnoha vrstvami izolačních materiálů, proto je i

součinitel prostupu tepla k 6 krát menší ($0,18 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ oproti $1,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ u zděného domu).

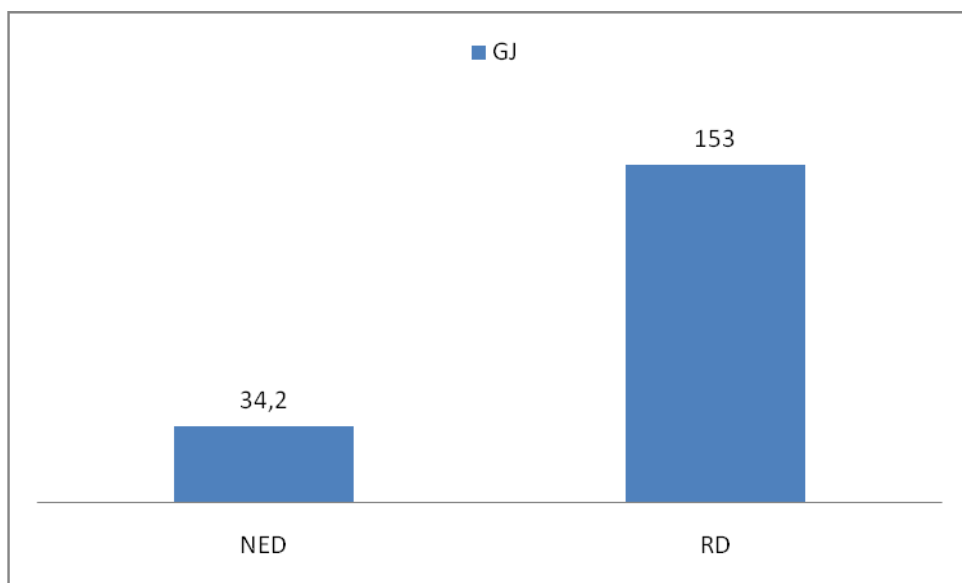
Třetí výrazný tepelný rozdíl se týká oken. Okna nízkoenergetického domu mají na rozdíl od značně starších špaletových výrazně nižší součinitel prostupu tepla k a lepší těsnění.

Posledním tepelným rozdílem je tepelná ztráta podlahou. Podlaha nízkoenergetického domu má díky svým izolačním vrstvám 8 krát menší ztrátu. Zděný dům je navíc z poloviny podsklepený, což má také vliv na výslednou tepelnou ztrátu podlahou.

5.2 Porovnání roční spotřeby tepla

V kapitolách 4.1 a 4.2 jsem zjistil roční spotřebu tepla, která je pro nízkoenergetický dům $Q_{vyt,r} = 34,2 \text{ GJ/rok} \approx 9,5 \text{ MWh/rok}$ a pro starší zděný dům $Q_{vyt,r} = 153 \text{ GJ/rok} \approx 42,5 \text{ MWh/rok}$

Pro názorné porovnání těchto hodnot uvádím hodnoty v grafu č. 4.



Graf 4 Porovnání roční spotřeby tepla

V grafu je patrný výrazný rozdíl v roční spotřebě zapříčiněný zejména výraznými tepelnými ztrátami. Důvodům těchto rozdílů se podrobněji věnuji v kapitole 5.1.

5.3 Ekonomické porovnání ročního provozu pro různé zdroje energie

V kapitole 4. jsem vypočetl roční potřebu tepla na vytápění $Q_{vyt,r}$, která je pro nízkoenergetický dům 34,2 GJ, pro běžný dům 153 GJ. V tabulce č. 9 jsou uvedeny příklady porovnávaných paliv, jejich výhřevnost a cena. Použité údaje jsem zjistil z literatury [7].

Pozice	Typ paliva	Výhřevnost Q_i [MJ.kg ⁻¹],[MJ.m ⁻³]	Cena paliva [Kč.kg ⁻¹]
1	hnědé uhlí	18	3,55
2	černé uhlí	23,1	5,1
3	koks	27,5	8,5
4	dřevo	14,6	3
5	dřevěné brikety	17	4,8
6	zemní plyn	37,8	16,2
7	elektrina přímotop		417
8	centrální zásobování teplem		400

Tabulka 9 Typy porovnávaných paliv, jejich výhřevnost a cena

Výpočet ceny paliva

$$x = \frac{Q_{vyt,r}}{Q_i \cdot \eta} \cdot cena / kg \quad [\text{Kč/rok}] \quad (16)$$

kde $Q_{vyt,r}$ je roční potřeba tepla na vytápění [GJ],

Q_i výhřevnost paliva [MJ.kg⁻¹],

η účinnost spalovacího zařízení [%].

Příklad výpočtu ceny paliva pro nízkoenergetický dům

Pro nízkoenergetický dům bych uvedl příklad výpočtu roční ceny elektřiny, jejíž cena se pohybuje zhruba okolo 2,6066 Kč/kWh. Zdrojem vytápění bude elektrokotel o účinnosti 98%. V kapitole 4 jsem výpočtem pro roční potřebu tepla na vytápění u nízkoenergetického domu

dospěl k hodnotě $Q_{vyt,r} = 9,5$ MWh/rok. Výsledná roční cena elektřiny potřebné k vytápění nám vyjde po dosazení patřičných údajů do vzorce (16):

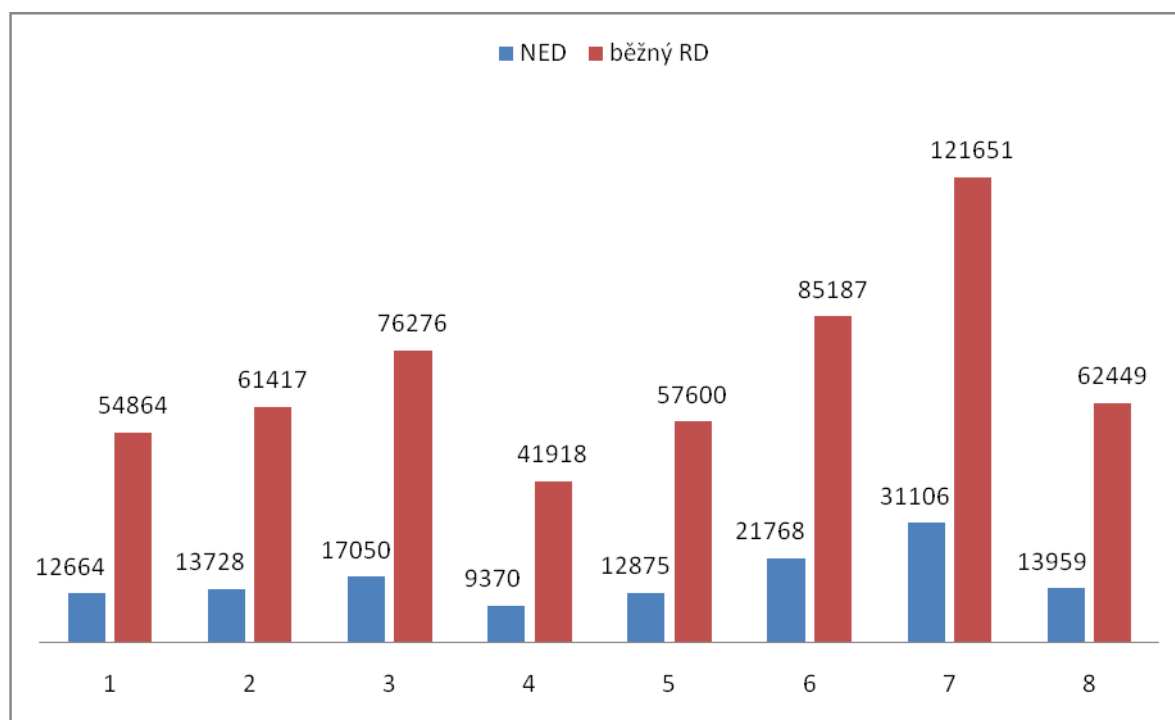
$$x = \frac{9500}{\eta} \cdot 2,6066 + 20 \cdot 12 = 31106 \text{ Kč/rok}$$

V ceně elektřiny je ještě zahrnut referenční paušál 420Kč/měsíc.

Příklad výpočtu ceny paliva pro starší zděný dům

Pro příklad si rozebereme cenu hnědého uhlí o výhřevnosti 18 MJ.kg^{-1} , jehož cena se pohybuje aktuálně okolo 3,55 Kč/kg. Uhlí bude spalováno v klasickém kotli na tuhá paliva o účinnosti 55%. Cenu paliva zjistíme po dosazení těchto údajů do vzorce (16):

$$x = \frac{153000}{18 \cdot 0,55} \cdot 3,55 = 54864 \text{ Kč/rok}$$



Graf 5 Porovnání nákladů na vytápění dle druhu paliva v Kč/rok

V grafu č. 3 je vidět znatelný rozdíl nákladů na vytápění dle druhu paliva mezi nízkoenergetickým domem a běžným domem. Graf znázorňuje pouze provozní náklady na vytápění za rok. V grafu nejsou uvedeny např. pořizovací náklady na příslušná spalovací zařízení, u fosilních paliv náklady na dopravu, u plynu náklady na pronájem plynoměru apod.

6. Závěr

V práci byly vypočteny velmi rozdílné hodnoty pro nízkoenergetický a starší zděný dům. Porovnávaný NED má výrazně nižší celkovou tepelnou ztrátu Q_c , která je 4,46 kW oproti 19,9 kW u běžného domu.

Dalším důležitým údajem, který jsem vypočetl, byla roční spotřeba tepla na vytápění, která je pro nízkoenergetický dům $Q_{vyt,r} = 34,2 \text{ GJ/rok} \approx 9,5 \text{ MWh/rok}$ a pro starší zděný dům $Q_{vyt,r} = 153 \text{ GJ/rok} \approx 42,5 \text{ MWh/rok}$.

V současné době prochází mnou porovnávaný starší zděný dům rekonstrukcí, která spočívá v celkovém zateplení obvodového pláště, výměně oken a vchodových dveří. K rekonstrukci přispěly i výpočty obsažené v této bakalářské práci.

7. Seznam použité literatury

- [1] ŘEHÁNEK, Jaroslav. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 248 s. ISBN 80-716-9582-3.
- [2] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 193 s. ISBN 80-247-1101-X.
- [4] HUMM, Othmar. *Nízkoenergetické domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 353 s. ISBN 80-716-9657-9.
- [5] Norma ČSN 06 0210
- [6] Norma ČSN 73 0540-3
- [7] <http://www.tzb-info.cz/>
- [8] Návod do cvičení z termomechaniky: Ing. Zdeněk Kadlec Ph.D., 2001
- [9] Technická dokumentace nízkoenergetického domu

8. Seznam příloh

CD s přiloženou bakalářskou prací